

明細書

電波レンズアンテナ装置

技術分野

[0001] この発明は、電波ビームを収束する球状或いは半球状のルーネベルグ電波レンズと小型化されたアンテナ素子(一次放射器)とを組み合わせて構成される無線通信用の電波レンズアンテナ装置に関する。

背景技術

[0002] 半球状のルーネベルグ電波レンズを用いたアンテナ装置の概念図を図1に示す。図中1は電波ビームを収束する半球状のルーネベルグ電波レンズ(以下単に電波レンズと言う)、2は電波レンズ1の球の2分断面に取り付けられて天空から入射される電波または標的に向けて放射される電波を反射させる反射板、3は電波を送信または受信するアンテナ素子(一次放射器)である。アンテナ素子3は、図示しないアームなどで保持して、電波レンズ1の任意の電波収束点に配置できるようにしてある。

[0003] この電波レンズアンテナ装置は、例えば受信を考えたとき、ある方向から到来した電波Aは、電波レンズ1によりその進行方向が曲げられて反射板2に至り、次に反射板2で反射されて図1に示すようにレンズの中心に対して反対側に収束されるので、これをアンテナ素子3で受信することができる。このことは、反射板2よりも上の任意の方向から到来した電波を受信できる、換言すれば、電波レンズ1の半球状の任意の点が焦点に成り得ることを意味している。

[0004] なお、送信の場合は上記とは逆であり、可逆性が成立する。

[0005] また、図1はレンズの表面上に焦点がある状態にしたが、焦点は実際にはレンズ表面よりも少し外側(一般には0mm～100mm程度の範囲で調整される)にあることが多い。

[0006] 上記の特性を考慮すれば、赤道を含む面内に存在する複数(N個)の静止衛星に対し、独立的に受信あるいは送信するためには、アンテナ素子3を複数(N個)用意し、各静止衛星に対する焦点にアンテナ素子を設置すればよく、ひとつの電波レンズ

でN個の衛星に対応できると言うのが、本電波レンズアンテナ装置の大きな利点である。

[0007] しかしながら、この電波レンズアンテナ装置を真のマルチビームレンズアンテナとして使用するためには、以下の問題を解決しなければならない。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] 例えば、日本国内では、一般に通信衛星は赤道上に4度(海外では2度)間隔で隣接しており、地球表面上から見たそれらの通信衛星(Communication Satellite: 略してCSと称されている)の離角はおよそ4.4度(海外では2.2度)である。上述した電波レンズアンテナ装置の利点を活かしてその4.4度間隔の衛星と各々独立して通信するためには、アンテナ素子を電波レンズの表面近くにある焦点位置に4.4度間隔で並べる必要がある。この要求に対し、例えば、半径200mmのレンズアンテナで焦点が表面から50mmの位置にあるとすれば、隣接するアンテナ素子間の直線距離は、 $2 \times (200+50) \times (\sin(4.4/2))$ で計算でき、約19.2mmとなって要求に応えるには非常に小さなアンテナ素子が必要になる。

[0009] また、4.4度間隔を保って隣接する衛星は、同一周波数の電波を用いるために、独立して通信する必要がある。そのためには、他の衛星からの干渉ノイズ(雑音)が小さいこと、言い換えれば、各々のアンテナ素子によるレンズアンテナ全体の指向性パターンにおいて、4.4度ずれた(4.4度離角した)方向からの信号(雑音となるサイドローブ)のレベルが、メイン方向信号(メインローブ)のレベルに比べて十分に小さいことが必要である。

[0010] 図14に、アンテナの指向性パターンの一例を示す。図のMがメインローブ、メインローブ以外の信号Sがサイドローブである。

[0011] 通信衛星の近辺には、4.4度離れた通信衛星のみならず、他の衛星も多数存在することから、例えばITU勧告(ITU-R B.O. 1213)では、下式で表される包絡線(図14に点線で示す線)よりも下側にサイドローブレベルが収まることが望ましいとされている。

$$29 - 25 \log \theta \text{ dBi} \quad (\theta : \text{離角 [度]})$$

アンテナのサイドローブレベルを下げる方法は、これまで多く報告されているが、一般的にアンテナの開口分布(主に振幅分布)にテーパをつける方法で実現できることが知られている。

- [0012] これをレンズアンテナで実現するには、アンテナ素子単体の指向性パターンを絞つてレンズの中心部に入る電力を高く、レンズの表面に近づくにつれて電力を小さくすれば、レンズアンテナの放射開口面で電力(振幅)のテーパ化を実現できる。以下、指向性パターンを絞ることを、その指向性パターンの3dB電力幅(半値幅)を用いて定義し、絞ることを半値幅が狭い、または、半値幅を狭くすると言い換えて表現する。
- [0013] 図2(a)、(b)に振幅分布が一様な場合と、その振幅分布にテーパがついている場合の指向性パターンを比較して示す。図2(a)のように、振幅分布が一様であるとメイシローブMに対するサイドローブSのレベルが相対的に高くなり、一方、図2(b)のように振幅分布にテーパがついているとサイドローブSは小さくなる。
- [0014] しかしながら、一般的にアンテナはその開口が大きいほど半値幅が狭くなり、開口が逆に小さくなれば半値幅は広くなることが理論的に証明されている。図14は、半値幅が広いアンテナ素子で受電した場合のレンズアンテナの指向性パターンを示しており、サイドローブSが望ましいとされる包絡線を越えている。
- [0015] アンテナ素子を小さくするために開口を小さくするとレンズアンテナのサイドローブのレベルが高くなり、また、レンズアンテナのサイドローブを下げるためにアンテナ素子の半値幅を狭くするとアンテナ素子が大きくなり、このように、アンテナ素子の小型化とレンズアンテナのサイドローブの低減は相容れない面がある。
- [0016] なお、現状のパラボラアンテナでは、その焦点がレンズアンテナに比べて遠くに存在するため、隣接衛星と独立に通信するための物理的アンテナ素子間隔を大きくとることができ。そのため、アンテナ素子の設計においては特に制約を受けることがなく、一般的に円形のホーンアンテナ(開口寸法が30mm以上の円錐ホーンアンテナ)が用いられているが、パラボラアンテナでは多数の衛星に対応することができない。また、このパラボラアンテナは、焦点距離が遠いためにその分アンテナ素子の肘部などの機構が大きくなり、嵩張ったイメージを与えることも問題となっている。
- [0017] そこで、この発明は、ルーネベルグ電波レンズを用いたアンテナ装置において、サ

イドロープを望ましいとされる包絡線レベル以下に抑えつつ、アンテナ素子を離角の小さな衛星にも対応できるサイズに小型化することを課題としている。この課題を解決すれば、小型で体裁の良いマルチビームアンテナ装置を実現することができる。

[0018] また、小型化したアンテナ素子を可及的に接近させて配置すると、所謂カップリング現象を引き起し、隣り合うアンテナ素子の単体特性(指向性)が大きく変化してアンテナの性能が悪くなる。従って、このカップリング現象の影響を極力小さくすることも重要であり、その要求に応えることも課題としている。

課題を解決するための手段

[0019] 上記の課題を解決するため、この発明においては、アンテナ素子を、導波管の先端開口部に誘電体を装荷した誘電体装荷導波管アンテナ(誘電体装荷フィード)で構成し、このアンテナ素子を球の2分断面に反射板を取り付けた半球状のルーネベルグ電波レンズ又は球状ルーネベルグ電波レンズと組み合わせて電波レンズアンテナ装置となした。アンテナ素子を構成する導波管は、誘電体の挿入性や、製造時の型抜き性などを考慮すると若干外広がりのテーパがつくことがあるが、基本的にはストレート管であり、ホーンアンテナ用の導波管とは形が異なる。

[0020] この電波レンズアンテナ装置に採用する誘電体装荷導波管アンテナは、円形導波管や断面楕円形の導波管を使用したものよりも角形導波管の先端開口部に誘電体を装荷したもの(角形誘電体装荷導波管アンテナ)が好ましい。ここで言う角形導波管は、基本的には方形断面の管を指す。ただし、E面、H面の指向性パターンを調整するために、矩形断面になることがあり得る。また、誘電体装荷導波管アンテナを、導波管にその管の前面を一周する溝を設けたチョーク構造のアンテナにするのも好ましい。

[0021] 導波管の先端開口に装荷する誘電体は、柱状にしてもよい。その誘電体のより好ましい形態を以下に列挙する。

- ・導波管の先端から突出させてその突出部を先細テーパ形状にしたもの。
- ・誘電体の先端中心を導波管の軸心の延長上から外れた位置に配置して誘電体の先端側を非回転対称形状にしたもの。
- ・誘電体の導波管前方への突出部の外周の一部を導波管の断面(軸直角断面)に

交差する方向の面に沿って除去したもの。

・誘電体の導波管前方への突出部のアンテナ素子配列方向寸法をその突出部の断面を含む平面内においてアンテナ素子配列方向と直角方向の寸法よりも小さくしたもの。

・誘電体の導波管からの突出部の先端をカットして誘電体の先端を平面又はR面にしたもの。

[0022] なお、誘電体の形状は、導波管の形状と必ずしも一致させる必要はなく、導波管の先端開口部に凸レンズ形状の誘電体を装荷した構造にすることもできる。

発明の効果

[0023] この発明の電波レンズアンテナ装置に採用したアンテナ素子(誘電体装荷導波管アンテナ)は、導波管の先端開口部に装荷した誘電体の働きによってレンズの中心部に入る電力を高く、レンズの表面に近づくにつれて電力を小さくする効果が高まり、アンテナの開口を大きくせずに半値幅を狭くすることができる。

[0024] また、角形導波管は、同じサイズの円形導波管に比べて通過できる電波の周波数の下限値(カットオフ点)が低いので、円形導波管よりも小さな管で所望周波数帯域を確保することができる。このため、角形誘電体装荷導波管アンテナで構成されるアンテナ素子を使用したものは、電波レンズと組み合わせるアンテナ素子に要求されるより一層のコンパクト化の要求に応えることができる。

[0025] このように、この発明の電波レンズアンテナ装置は、アンテナ素子を誘電体装荷導波管アンテナで構成し、これを半球状のルーネベルグ電波レンズと組み合わせたので、アンテナ素子の小型化とレンズアンテナのサイドローブの低減を両立させることができ、離角の小さい多数の衛星を通信相手にした性能の良いマルチビームアンテナを実現することが可能になる。

[0026] さらに、誘電体の導波管からの突出部を先細テーパ形状にしたもの、誘電体の先端中心を非回転中心対称位置に配置したもの、誘電体の導波管前方への突出部の外周の一部を導波管長手方向の面に沿って除去したもの、及び誘電体の突出部のアンテナ素子配列方向寸法をそれとは直角方向の寸法よりも小さくしたものは、近接配置したアンテナ素子の誘電体間距離が大きくなつてカップリング現象の抑制効果

が高まる。

[0027] このほか、誘電体の導波管からの突出部の先端をカットしたものは、アンテナ素子の長さを短縮してアンテナ装置をより小型化することができる。また、カット後の誘電体先端をR面にしたものは水切り性に優れる。

発明を実施するための最良の形態

[0028] 図3乃至図13に、この発明の実施形態を示す。この発明の電波レンズアンテナ装置の基本構造は図1に示すもの(球状のルーネベルグ電波レンズを使用して反射板を使用しないものもある)と同じであり、アンテナ素子のみが従来考えられているものと異なる。従って、実施形態はアンテナ素子の構造のみを示す。

[0029] 図3のアンテナ素子3は、角形導波管4の先端開口部に角柱状の誘電体6を装荷して構成されている。

[0030] また、図4のアンテナ素子3は、円形導波管(楕円形の導波管でもよい)5の先端開口部に円柱状の誘電体6を装荷して構成されている。

[0031] 導波管は、角形導波管、中でも断面方形の導波管がスペース効率が良く、アンテナ素子の小型化の効果が最大限に発揮されるが、装荷する誘電体の性能によっては、円形、楕円形の管を用いても、アンテナ素子3を要求サイズに縮小することができる。

[0032] 導波管4、5の材質は真鍮やアルミニウムなどの金属であればよく、量産性に優れたダイキャストであってもよい。この導波管4、5のサイズは、例えば、周波数12GHz帯であれば角形導波管の場合、一辺18mm以下(図3(a)のa、bが共に18mm以下)に収めることができ、アンテナ素子間隔が既述の19.2mmの場合にも、アンテナ素子を互いに干渉させずに所望の位置に配置することが可能になる。

[0033] また、誘電体6は、ポリエチレン等、比較的誘電率が低くてしかも誘電正接($\tan \delta$)の小さい材料が望ましい。

[0034] この誘電体6の長さ(図5のL)は、アンテナ素子3の半値幅に基づいて決定される。

[0035] 図6は、導波管4の前面に、その前面を一周する溝7を設けてアンテナ素子3をチョーク構造にしたものである。このチョーク構造を併用するとアンテナ素子単体でのサイドローブ低減の効果も得られ、サイドローブレベルがさらに下がる。このチョーク構

造は、角形以外の導波管を用いたアンテナ素子にも有効である。

[0036] 導波管に装荷する誘電体6の形状は柱状に限定されない。図7は角形導波管4(または円形導波管5)の先端開口部に凸レンズ形状の誘電体6を装荷したものであり、このような形状の誘電体6を使用することもできる。

[0037] 図8～図13は、素子間の間隔が狭くてカップリングが懸念されるときに有効なアンテナ素子を示している。

[0038] 円形導波管5を使用したアンテナ素子3と角形導波管4を使用したアンテナ素子3を静止衛星の間隔に対応した間隔Pをあけてそれぞれ2個並べた状態を図8(a)、(b)に示す。角形導波管は、同じ周波数の電波に対応する場合には円形導波管よりも管サイズが小さくてよく、そのため、角形導波管4を使用すると2個のアンテナ素子3を間隔Pをあけて配置したときの両アンテナ素子の誘電体6、6間の間隔P₁が円形導波管5を使用するものよりも広がってカップリングの度合いが小さくなる。

[0039] 各アンテナ素子は電波レンズの中心に向けて配置されて隣り合うアンテナ素子の間隔が素子の先端に行くほど狭くなるので、誘電体6の導波管からの突出部は先細テーパ状にするのがよい。突出部の断面形状の一例を図9に示す。例示の突出部は、いずれも幅w(楕円断面の場合短辺)が幅直角方向寸法d(楕円断面の場合長辺)よりも小さく、幅方向がアンテナ素子の配列方向となるように誘電体6の向きを設定することによって隣り合うアンテナ素子の誘電体間距離をより大きくすることができる。

[0040] 誘電体6の導波管からの突出部を先細テーパ状にした例を図10に示す。図10(a)は、誘電体6の導波管からの突出部を楕円の錐や多角錐にしたものであって、錐の頂点が錐の底面の中心軸上にある。この突出部の先端を、図10(b)や図10(c)に示すようにカットすると、アンテナ素子の軸方向寸法が短縮され、電波レンズの表面から焦点までの距離を小さくしてアンテナ装置のさらなるコンパクト化を図ることができる。

[0041] なお、カット後の誘電体6の先端は、雨水がかかったときの水切り性を考えると、図10(b)の平面よりも図10(c)のR面にするのが好ましい。

誘電体6の突出部を錐状にしたときの頂点は、図10(d)に示すように錐の底面の中心軸上から外れた位置に配置されていてもよい。このように、誘電体6の突出部を非回転対称形状したアンテナ素子3は、2個のアンテナ素子を近接して配置するアンテ

ナ装置に有效地に使用できる。即ち、2個のアンテナ素子を近接して配置するとカップリング現象が起こって各アンテナ素子で捕捉した電波が歪む。その歪を誘電体6の突出部先端を図11に示すように互いに離反する方法に偏在させることによって小さくすることができる。

- [0042] 図12に示すように、誘電体6の突出部の外周の一部を導波管の軸直角断面と交差する方向の面に沿ってカットし、この誘電体6を外周のカット面が向き合うように隣り合うアンテナ素子の導波管に装荷する構造でもカップリングを低減することができる。誘電体6の外周のカット面は軸直角断面に対して垂直になっているが、垂直でなくてもよい。
- [0043] 図13に、カップリングの度合いが小さいときの指向性パターンを実線で、また、カップリングの度合いが大きくときの指向性パターンを一点鎖線でそれぞれ示す。角形導波管を使用し、さらに、誘電体の形状を工夫してカップリングを抑制すれば電波の歪が小さくなり、静止衛星との通信感度が高まる。
- [0044] このほか、誘電体を装荷した導波管の根元部に基板回路を結合し、この基板回路上に低ノイズ増幅器(LNA)、周波数変換器(コンバータ)、発信器等を搭載してアンテナ素子3を衛星放送アンテナ用低ノイズブロック(LNB)として構成してもよい。
- [0045] 上述したアンテナ素子は、いずれも図1の電波レンズアンテナ装置用の素子に要求される下記1)～4)の基本性能を満足し、結果としてルーネベルグ電波レンズとの総合特性である、隣接衛星との独立通信が可能な低サイドローブの要求を満たすことができる。
 - 1) 0.8λ (λ :波長、例えば、周波数12.5GHzの場合、約25mm)以下のサイズである。
 - 2) 半値幅について例えば50度程度が実現できる。
 - 3) 垂直V、水平Hの両直線偏波共用のため直線偏波アンテナである(この条件を満足すれば円偏波アンテナにも適用可能)。
 - 4) E面、H面(図3(b)参照)の指向性パターンを極力同じにできる。
- [0046] 上述した誘電体装荷導波管アンテナ(角形導波管を用いたもの)を図1の電波レンズアンテナ装置にアンテナ素子3として採用したときのレンズアンテナの指向性パタ

ーンにおけるサイドロープの低減効果を図15に示す。

[0047] このように、この発明を特徴づける誘電体装荷導波管アンテナを使用すると、サイドロープSが好ましいとされる包絡線(図の点線)よりも小さくなり、離角が小さい(例えば4.4度間隔)衛星との独立通信が可能になる。

[0048] また、同時にアンテナ素子の小型化が図れ、そのアンテナ素子のスペース面での設置規制が緩和されて多数の衛星との通信が可能になる。

図面の簡単な説明

[0049] [図1]半球状のルーネベルグ電波レンズを用いたアンテナ装置の概念図
 [図2](a)振幅分布が一様な場合のアンテナの指向性パターンを示す図、(b)振幅分布にテープをつけた場合のアンテナの指向性パターンを示す図
 [図3](a)この発明のアンテナ素子の一例を示す要部の斜視図、(b)角形導波管の断面を示す図
 [図4]この発明のアンテナ素子の他の例を示す要部の斜視図
 [図5]この発明のアンテナ素子の基本形を示す要部の側面図
 [図6]チョーク構造を併用したアンテナ素子の要部の側面図
 [図7]凸レンズ形状の誘電体を装荷したアンテナ素子の要部の断面図
 [図8](a)円形導波管を使用したアンテナ素子を2個並べた状態を示す図、(b)角形導波管を使用したアンテナ素子を2個並べた状態を示す図
 [図9](a)～(f)誘電体の突出部の断面形状の具体例を示す図
 [図10](a)～(d)誘電体の突出部の側面形状の具体例を示す図
 [図11]先端が非回転対称形状の誘電体を装荷したアンテナ素子を用いてカップリングを抑制する例を示す図
 [図12]誘電体の導波管からの突出部の一部をカットしてカップリングを抑制する例を示す図
 [図13]カップリングが小さい場合と大きい場合の指向性パターンを比較して示す図
 [図14]半値幅が広い場合のアンテナの指向性パターンを示す図
 [図15]アンテナ素子として誘電体装荷導波管アンテナを用いた場合のアンテナの指向性パターンを示す図

符号の説明

[0050] 1 ルーネベルグ電波レンズ

2 反射板

3 アンテナ素子

4 角形導波管

5 円形導波管

6 誘電体

7 溝

A 電波

M メインロープ

S サイドロープ

請求の範囲

[1] 電波ビームを収束する半球状の電波レンズと、この電波レンズの球の2分断面に取り付けられて天空から入射される電波または標的に向けて放射される電波を反射させる反射板と、前記電波レンズの任意の電波収束点に配置されて電波を送信または受信するアンテナ素子とを有し、
前記アンテナ素子が、導波管の先端開口部に誘電体を装荷した誘電体装荷導波管アンテナで構成され、そのアンテナ素子が近接して複数個設けられている電波レンズアンテナ装置。

[2] 電波ビームを収束する球状の電波レンズと、この電波レンズの任意の電波収束点に配置されて電波を送信または受信するアンテナ素子とを有し、
前記アンテナ素子が、導波管の先端開口部に誘電体を装荷した誘電体装荷導波管アンテナで構成され、そのアンテナ素子が近接して複数個設けられている電波レンズアンテナ装置。

[3] 前記誘電体装荷導波管アンテナが、角形導波管の先端開口部に誘電体を装荷した角形誘電体装荷導波管アンテナである請求項1又は2に記載の電波レンズアンテナ装置。

[4] 前記誘電体装荷導波管アンテナの誘電体を導波管の前方に突出させて設け、その突出部を先細テーパ形状にした請求項1乃至3のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。

[5] 前記誘電体の先端中心を前記導波管の軸心の延長上から外れた位置に配置して誘電体の先端側を非回転対称形状にした請求項4に記載の電波レンズアンテナ装置。

[6] 前記誘電体を導波管の前方に突出させ、その突出部の外周の一部を導波管の断面に交差する方向の面に沿って除去した請求項1乃至3のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。

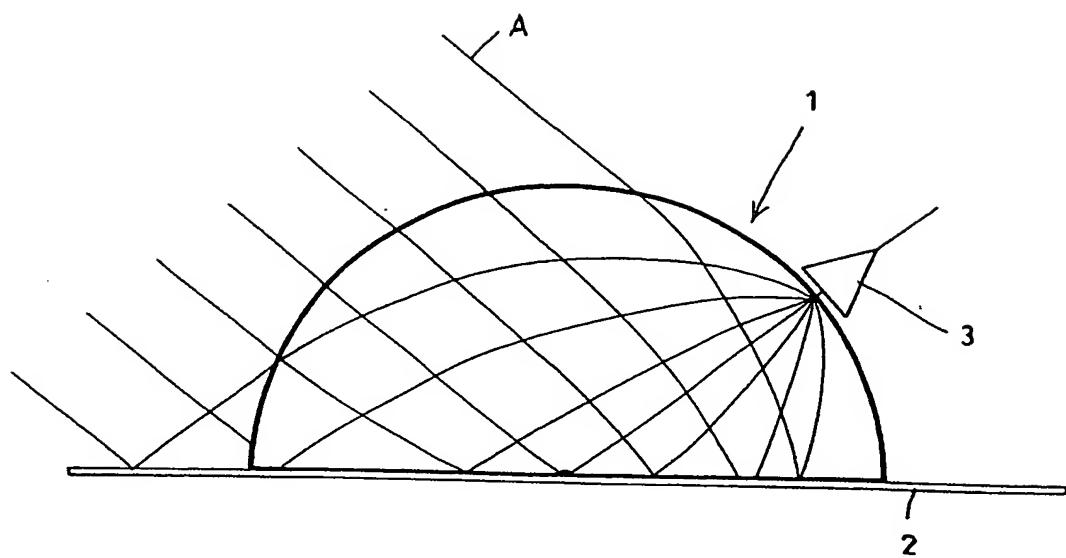
[7] 前記誘電体の導波管前方への突出部のアンテナ素子配列方向寸法をその突出部の断面を含む平面内においてアンテナ素子配列方向と直角方向の寸法よりも小さくした請求項4乃至6のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。

- [8] 前記誘電体の導波管からの突出部の先端をカットして誘電体の先端を平面又はR面にした請求項4乃至7のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。
- [9] 前記誘電体装荷導波管アンテナが、導波管にその管の前面を一周する溝を設けたチョーク構造のアンテナである請求項1乃至8のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。
- [10] 前記誘電体装荷導波管アンテナが、導波管の先端開口部に凸レンズ形状の誘電体を装荷した構造のアンテナである請求項1乃至3のいずれかに記載の電波レンズアンテナ装置。

要 約 書

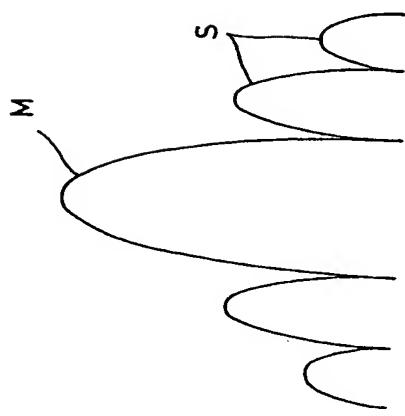
小さな離角で並んだ衛星との独立通信が可能なマルチビームレンズアンテナを実現する。導波管の先端開口部に誘電体6を装荷してこれをアンテナ素子3となし、このアンテナ素子3と、半球状のルーネベルグ電波レンズと、この電波レンズの球の2分断面に取り付けられて天空から入射される電波または標的に向けて放射される電波を反射させる反射板とを組み合わせて電波レンズアンテナ装置を構成した。導波管は円形導波管5よりも角形導波管4が好ましい。また、誘電体6は先細テーパ状のものが好ましい。

[図1]



[図2]

(a)

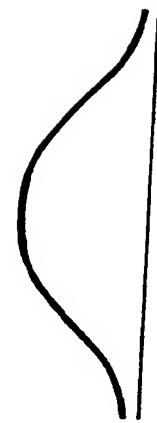
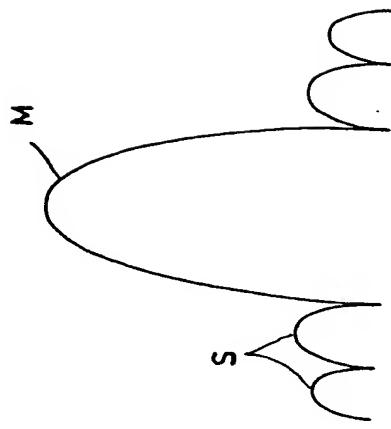


振幅分布

一様分布

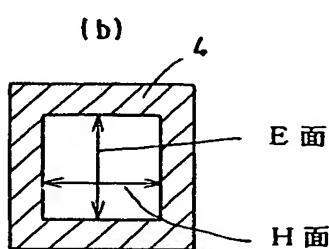
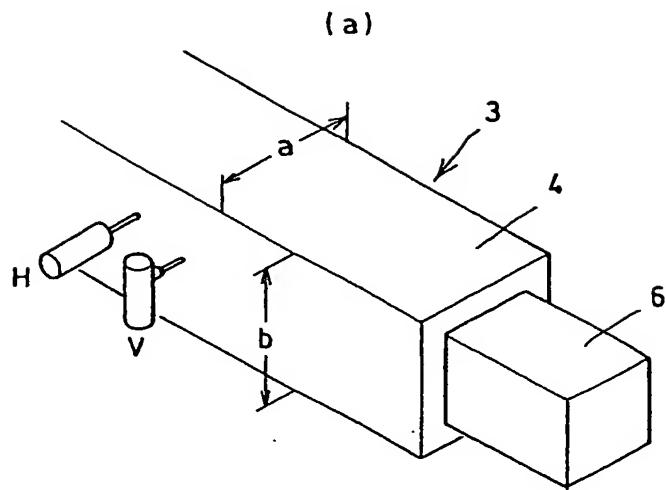


(b)

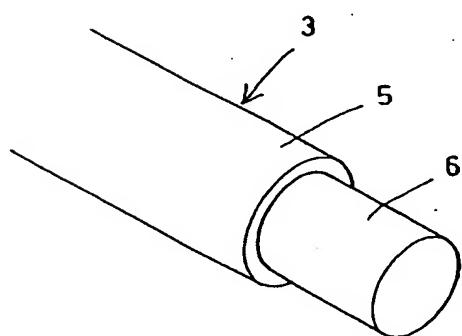


非一様分布

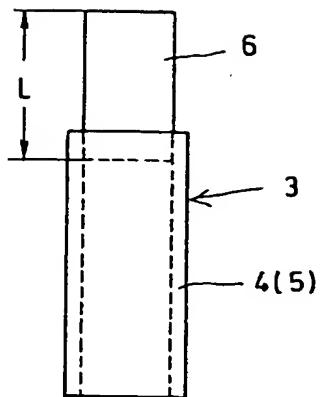
[図3]



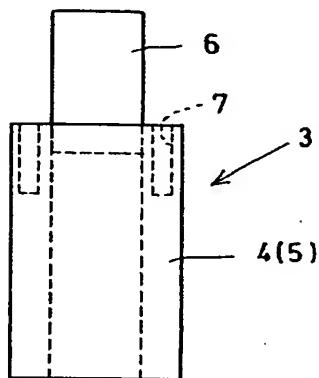
[図4]



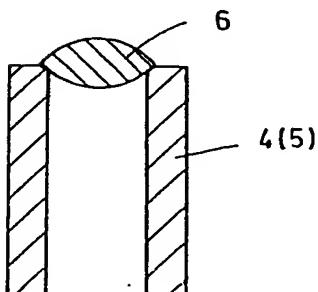
[図5]



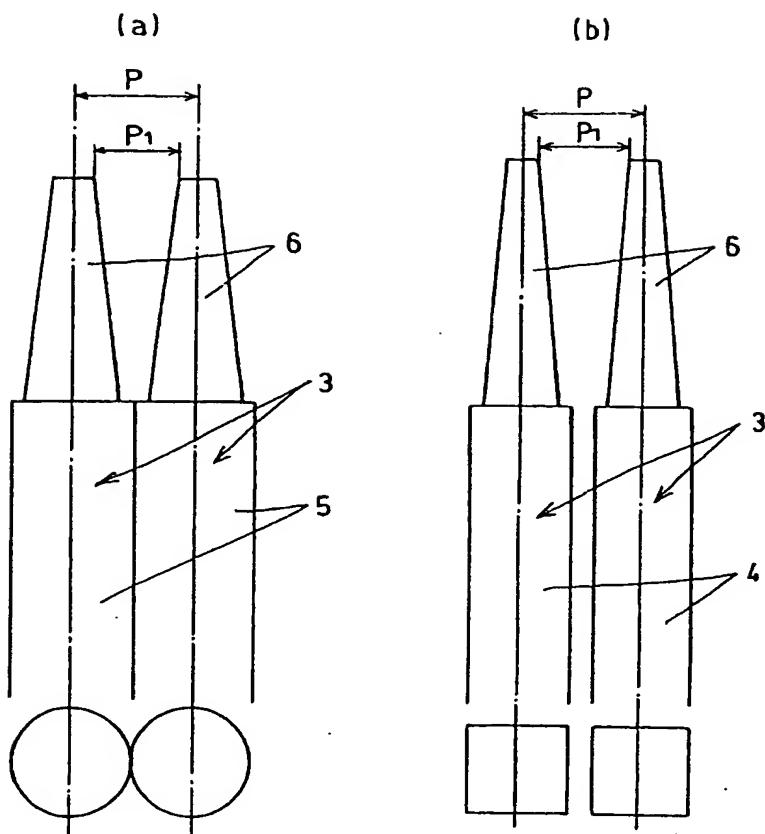
[図6]



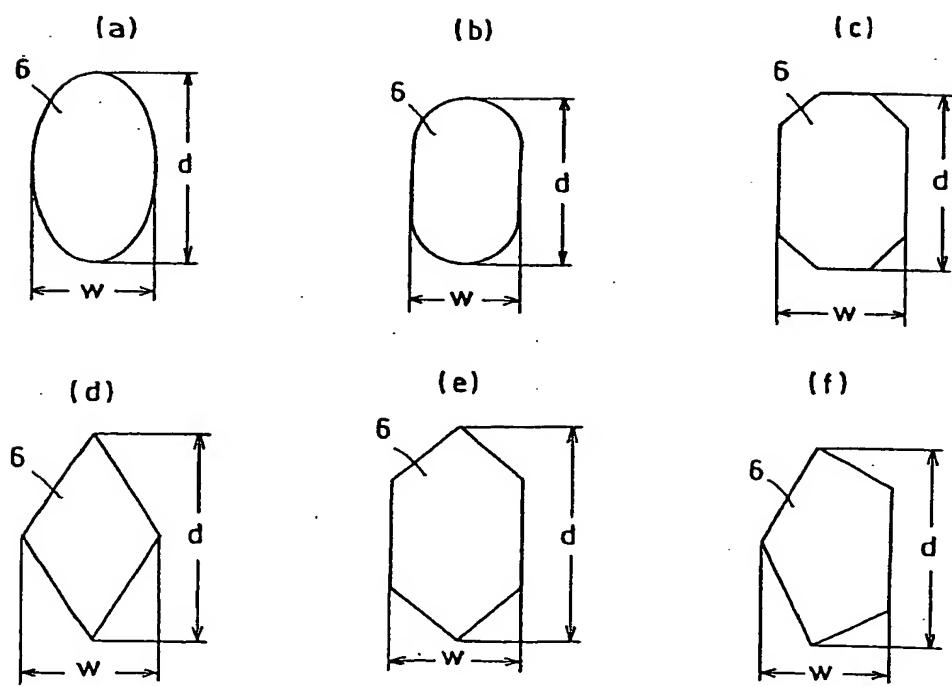
[図7]



[図8]

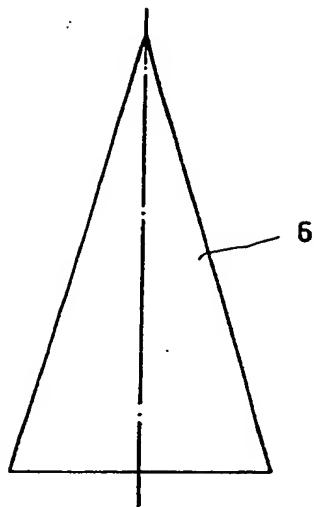


[図9]

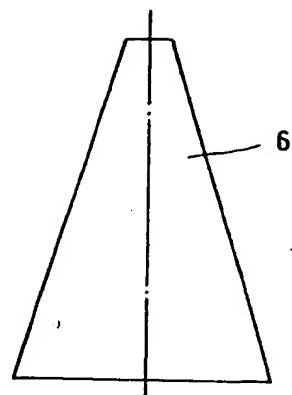


[図10]

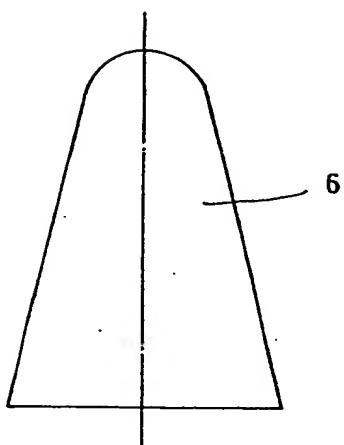
(a)



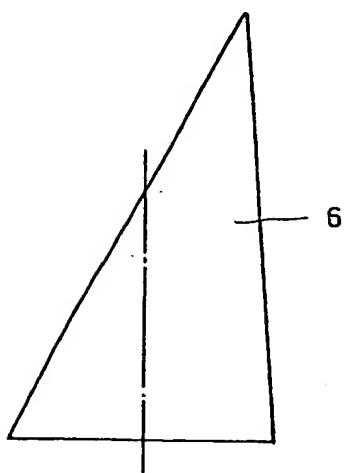
(b)



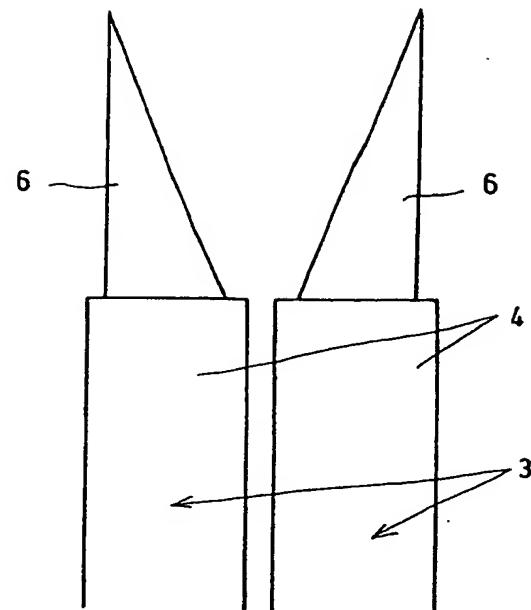
(c)



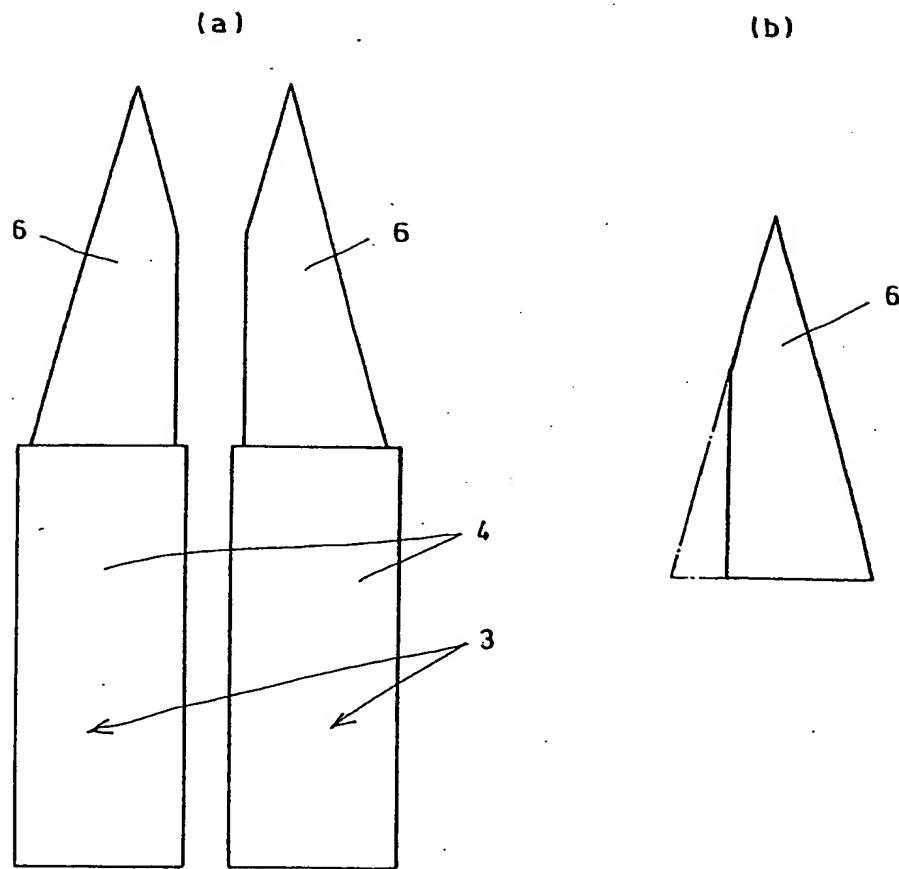
(d)



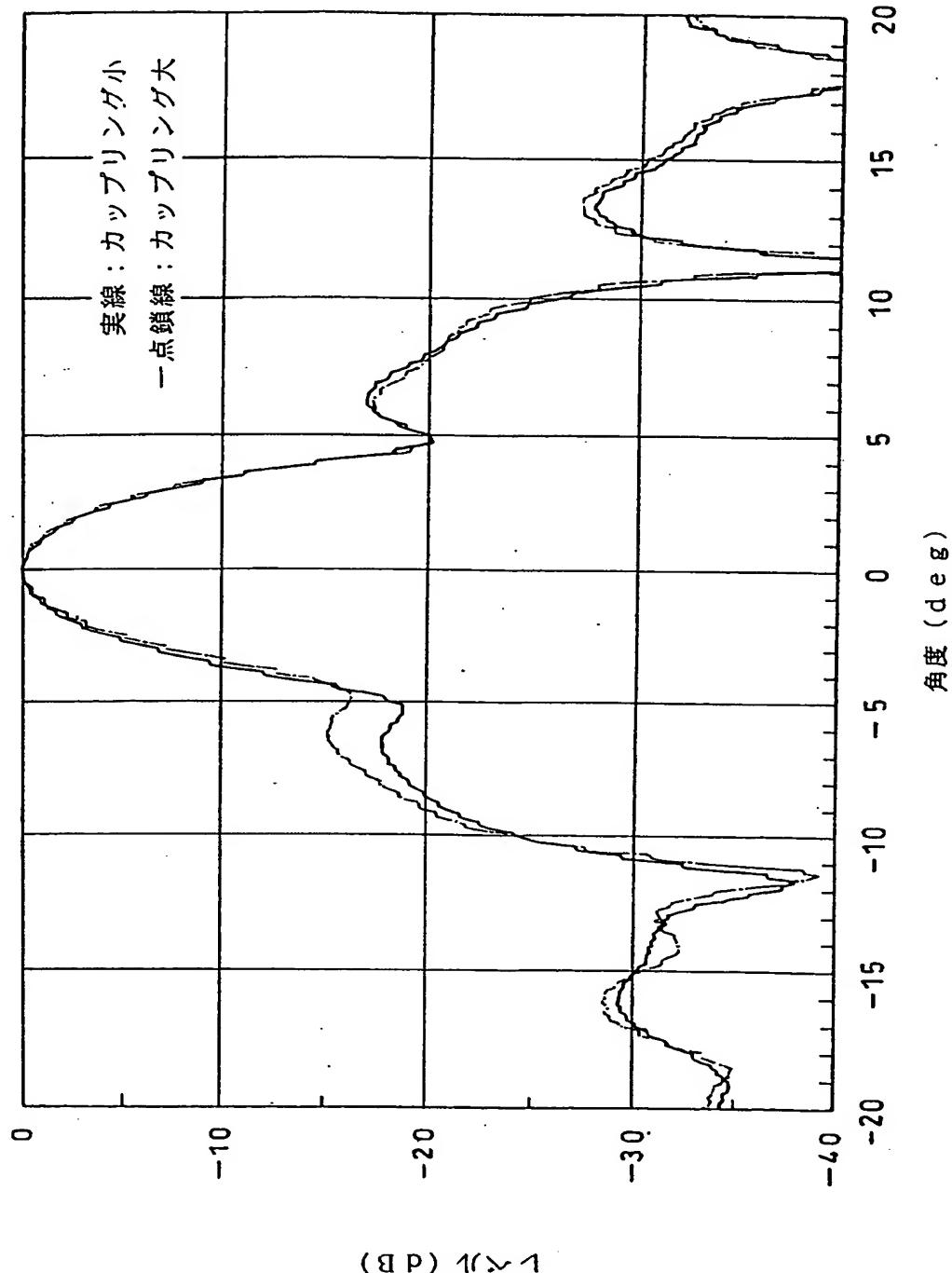
[図11]



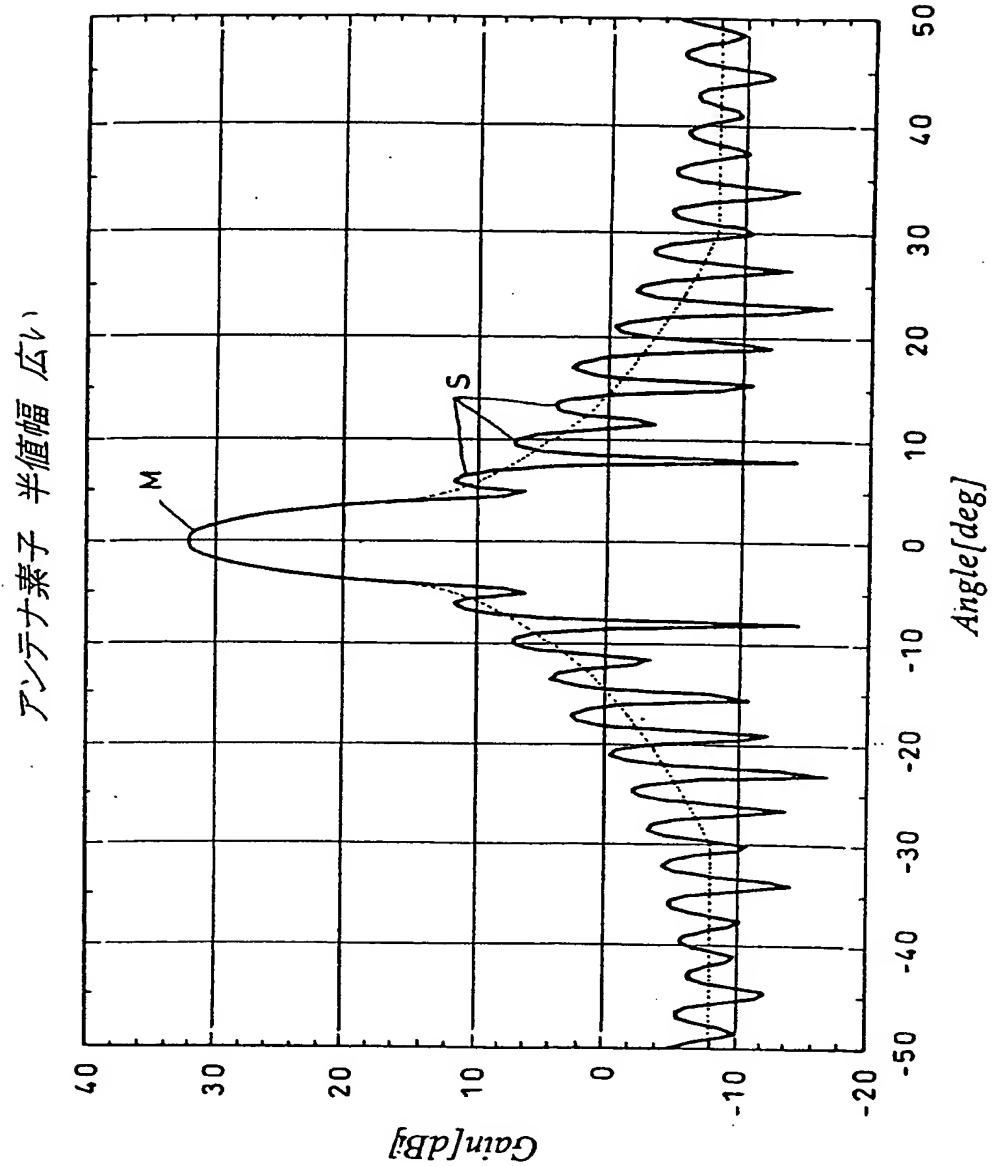
[図12]



[図13]



[図14]



[図15]

